



# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 10 JUIL. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Martine PLANCHE', is enclosed in a decorative oval border.

Martine PLANCHE

|   |  |
|---|--|
| <b>INSTITUT<br/>NATIONAL DE<br/>LA PROPRIETE<br/>INDUSTRIELLE</b> | <b>SIEGE</b><br>26 bis, rue de Saint Petersbourg<br>75800 PARIS cedex 08<br>Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04<br>Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23<br><a href="http://www.inpi.fr">www.inpi.fr</a> |
|---|--|

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE  
26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

## BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11354\*03

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE  
page 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 210502

|  |  |                         |
|--|--|-------------------------|
| <b>REMISE DES PIÈCES</b><br>DATE <b>28 FEV 2003</b><br>LIEU <b>75 INPI PARIS B</b><br>N° D'ENREGISTREMENT <b>0302519</b><br>NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI<br>DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE<br>PAR L'INPI <b>28 FEV. 2003</b><br><i>Vos références pour ce dossier<br/>(facultatif)</i> <b>240409 D21042 OC</b>  |  | <b>Réserve à l'INPI</b> |
| <b>1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b><br><b>À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b><br><br>Cabinet REGIMBEAU<br>20, rue de Chazelles<br>75847 PARIS CEDEX 17<br>FRANCE  |  |                         |
| <b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b><br><input checked="" type="checkbox"/> Demande de brevet<br><input type="checkbox"/> Demande de certificat d'utilité<br><input type="checkbox"/> Demande divisionnaire<br><br><i>Demande de brevet initiale</i><br><i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i><br><input type="checkbox"/> Transformation d'une demande de<br>brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i><br><br><b>3 TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum)<br><b>RELAXATION A HAUTE TEMPERATURE D'UNE COUCHE MINCE APRES TRANSFERT</b>                                  |  |                         |
| <b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ</b><br><b>OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE</b><br><b>LA DATE DE DÉPÔT D'UNE</b><br><b>DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b><br><br><input type="checkbox"/> Pays ou organisation<br>Date <input type="text"/> N°<br><input type="checkbox"/> Pays ou organisation<br>Date <input type="text"/> N°<br><input type="checkbox"/> Pays ou organisation<br>Date <input type="text"/> N°<br><input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »  |  |                         |
| <b>5 DEMANDEUR</b> (Cochez l'une des 2 cases)<br><br><input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique<br>Nom ou dénomination sociale <b>S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES</b><br>Prénoms<br>Forme juridique <b>SOCIETE ANONYME</b><br>N° SIREN <b>384711909</b><br>Code APE-NAF<br><br>Domicile Rue <b>Parc Technologique des Fontaines - Chemin des Franques, 38190</b><br>ou siège Code postal et ville <b>BERNIN</b><br>Pays <b>FRANCE</b><br>Nationalité <b>Française</b><br>N° de téléphone (facultatif)<br>Adresse électronique (facultatif) |  |                         |
| <input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé « Suite »  |  |                         |

Remplir impérativement la 2<sup>me</sup> page



INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

1er dépôt

BREVET D'INVENTION  
CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 2/2

BR2

Réervé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

28 FEV 2003

LIEU

75 INPI PARIS B

N° D'ENREGISTREMENT

0302519

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DB 540 W / 210502

**6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)**

|   |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|
| Nom   |                      | 240409 OC            |
| Prénom  |                      |                      |
| Cabinet ou Société                                |                      | Cabinet REGIMBEAU    |
| N °de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel |                      |                      |
| Adresse   | Rue                  | 20, rue de Chazelles |
|   | Code postal et ville | 75847 PARIS CEDEX 17 |
|   | Pays                 |                      |
| N° de téléphone (facultatif)                      |                      | 01 44 29 35 00       |
| N° de télécopie (facultatif)                      |                      | 01 44 29 35 99       |
| Adresse électronique (facultatif)                 |                      | info@regimbeau.fr    |

**7 INVENTEUR (S)**

|   |   |
|---|---|
| Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes | <input type="checkbox"/> Oui<br><input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s) |
|---|---|

**8 RAPPORT DE RECHERCHE**

|   |   |
|---|---|
| Établissement immédiat ou établissement différé         | <input checked="" type="checkbox"/><br><input type="checkbox"/>   |
| Paiement échelonné de la redevance (en deux versements) | <b>Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt</b><br><input type="checkbox"/> Oui<br><input type="checkbox"/> Non |

**9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES**

|  |  |
|--|--|
|  | <b>Uniquement pour les personnes physiques</b><br><input type="checkbox"/> Requise pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)<br><input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG <input type="text"/> |
|--|--|

**10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS**

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Le support électronique de données est joint  | <input type="checkbox"/> |
| La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe | <input type="checkbox"/> |

Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes

**11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)**

  
92 - 114,2

**VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI**



La présente invention concerne la formation sur un substrat d'une couche relaxée ou pseudo-relaxée, la couche relaxée étant en un matériau choisi parmi les matériaux semiconducteurs, afin de former une structure finale destinée à l'électronique, l'optique ou l'optoélectronique telle que par exemple 5 une structure semiconducteur-sur-isolant.

La présente invention comprend en particulier la formation d'une couche contrainte sur et par la couche relaxée.

Par exemple, une couche de Si contraint par une couche de SiGe relaxée ou pseudo-relaxée peut à cet égard atteindre des propriétés 10 intéressantes telles qu'une mobilité des porteurs de charges de l'ordre de 100% plus importante que celle présente au sein d'une couche de Si relaxé.

On dit ici qu'une couche est « relaxée » si le matériau cristallin qui la constitue a un paramètre de maille sensiblement identique à son paramètre de maille nominal, c'est à dire au paramètre de maille du matériau sous sa forme 15 massive à l'équilibre.

A l'inverse, on appelle couche « contrainte » toute couche d'un matériau cristallin dont la structure cristalline est contrainte élastiquement en tension ou en compression lors d'une croissance cristalline, telle qu'une épitaxie, obligeant son paramètre de maille à être sensiblement différent du paramètre de maille 20 nominal de ce matériau.

Il est connu de former sur un substrat une couche relaxée, en mettant notamment en œuvre un procédé comprenant les étapes suivantes :

- (1) épitaxie d'une couche mince en matériau semiconducteur sur un substrat donneur ;
- 25 (2) collage d'un substrat récepteur au niveau de la couche mince ;
- (3) enlèvement du substrat donneur.

On peut ainsi réaliser une structure semiconducteur-sur-isolant, dans laquelle l'épaisseur semiconductrice est constituée au moins en partie de ladite couche mince relaxée et la couche isolante étant habituellement formée lors 30 d'une étape intermédiaire à l'étape (1) et à l'étape (2).



La réalisation de la relaxation de la couche mince peut être réalisée :

- au cours de la mise en œuvre de l'étape (1) ; ou
- lors d'un traitement ultérieur.

Dans le premier cas, il est connu d'utiliser un substrat donneur constitué

5 d'un substrat support et d'une couche tampon, la couche tampon confinant des déformations plastiques pour que la couche mince sus-épitaxiée soit relaxée de toute contrainte. De tels procédés sont par exemple décrits dans les documents US 2002/0072130 et WO 99/53539.

Cependant, une couche tampon est souvent longue et coûteuse à

10 réaliser.

Dans le deuxième cas, le substrat donneur ne comprend pas de couche tampon et l'étape (1) consiste alors à faire croître la couche mince de sorte qu'elle soit contrainte par le substrat donneur.

Ainsi, par exemple, on fera croître une couche de SiGe directement sur

15 un substrat de Si, sur une épaisseur telle que la couche de SiGe soit globalement contrainte.

Une première technique de relaxation de la couche de SiGe, notamment décrite dans le document de B. Höllander et col. intitulé « Strain relaxation of pseudomorphic  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  / Si(100) heterostructures after hydrogen or helium ion 20 implantation for virtual substrate fabrication » (dans Nuclear and Instruments and Methods in Physics Research B 175-177 (2001) 357 – 367) consiste à relaxer, avant la mise en œuvre de l'étape (2), la couche de SiGe par implantation d'ions hydrogène ou d'hélium dans le substrat en Si à une profondeur déterminée.

25 Cependant, les taux de relaxation habituellement obtenus par cette première technique restent assez bas par rapport aux autres techniques.

L'étude d'une deuxième technique est notamment divulguée dans le document intitulé « Compliant Substrates :A comparative study of the relaxation

mechanisms of strained films bonded to high and low viscosity » de Hobart et col. (Journal of electronic materials, vol.29, n°7, 2000).

Après enlèvement du substrat donneur lors de l'étape (3), est mis en œuvre un traitement thermique pour relaxer ou pseudo-relaxer une couche de SiGe constraint collée lors de l'étape (2) à un verre BPSG (abréviation anglo-saxonne de « borophosphoro silicate glass »).

Au cours du traitement thermique, la couche contrainte semble ainsi se relaxer par l'intermédiaire de la couche de verre devenue visqueuse à la température du traitement.

Un intérêt de cette technique serait d'utiliser une couche en BPSG qui a une température de viscosité  $T_G$  assez basse (de l'ordre de 625°C).

Cependant, pour des traitements thermiques mis en œuvre postérieurement au traitement thermique de relaxation et à des températures plus élevées que  $T_G$ , la viscosité de la couche de BPSG obtenue à ces températures peut avoir des effets non souhaités, notamment sur la structure de la plaquette traitée.

Ainsi, par exemple, si des transistors sont réalisés dans la couche de SiGe relaxée ou pseudo-relaxée ou dans une couche de Si contrainte épitaxiée sur la couche de SiGe relaxée ou pseudo-relaxée, à une température supérieure à  $T_G$ , une partie des contraintes peuvent se relâcher par l'intermédiaire de la couche de verre devenue visqueuse, enlevant des contraintes à la couche de Si et ajoutant des contraintes dans la couche de SiGe.

Ce qui est contraire au but recherché ici qui est de conserver les relaxations de la couche de SiGe pour contraindre au mieux la couche de Si.

La présente invention tente de vaincre cette difficulté en proposant un procédé de formation sur un substrat d'une couche relaxée ou pseudo-relaxée, la couche relaxée étant en un matériau choisi parmi les matériaux semiconducteurs, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :



- (a) faire croître sur un substrat donneur une couche contrainte élastiquement constituée du matériau choisi parmi les matériaux semiconducteurs ;
- 5 (b) former sur la couche contrainte ou sur un substrat récepteur, une couche vitreuse constituée d'un matériau visqueux à partir d'une température de viscosité supérieure à environ 900°C ;
- (c) coller un substrat récepteur à la couche contrainte par l'intermédiaire de la couche vitreuse formée à l'étape (b) ;
- 10 (d) enlever le substrat donneur, pour former une structure comprenant le substrat récepteur, la couche vitreuse et la couche contrainte ;
- (e) traiter thermiquement la structure à une température voisine ou supérieure à la température de viscosité.

D'autres caractéristiques du procédé de formation sur un substrat d'une couche relaxée ou pseudo-relaxée sont :

- 15 – une dernière étape de croissance cristalline, sur la structure, d'un matériau choisi parmi les matériaux semiconducteurs, est mis en œuvre ;
- l'étape (b) comprend les deux opérations successives :
- (b1) faire croître une couche en matériau semiconducteur sur la couche contrainte ;
- 20 (b2) réaliser un traitement contrôlé pour transformer au moins une partie de la couche formée à l'étape (b1), en matériau visqueux à partir de la température de viscosité, formant ainsi la couche vitreuse ;
- le substrat donneur est en Si et la couche contrainte est en  $Si_{1-x}Ge_x$  ;
- la couche de croissance de l'étape (b1) est en Si et le traitement contrôlé mis en œuvre lors de l'étape (b2) est un traitement d'oxydation thermique contrôlé pour transformer au moins une partie du Si de la couche formée lors de l'étape (b1) en  $SiO_2$ , formant ainsi la couche vitreuse (4) en  $SiO_2$  ;
- 25 – l'étape (e) comprend un traitement thermique à partir d'environ 900°C ;
- le matériau utilisé pour ladite croissance sur la structure est du Si ;

- la couche vitreuse formée au cours de l'étape (b) est isolante électriquement et la structure formée est donc une structure semiconducteur-sur-isolant, dont l'épaisseur semiconductrice comprend la couche contrainte ayant été relaxée ou pseudo-relaxée lors de l'étape (e).

5 D'autres aspects, buts et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante de mise en œuvre de procédés préférés de celle-ci, donnés à titre d'exemple non limitatif et faits en référence aux dessins annexés sur lesquels :

10 Les figures 1a à 1i représentent les différentes étapes d'un premier procédé selon l'invention.

Les figures 2a à 2i représentent les différentes étapes d'un deuxième procédé selon l'invention.

Un premier objectif de la présente invention consiste à former une couche utile relaxée ou pseudo-relaxée sur un substrat.

15 Une « couche utile » selon l'invention est une couche destinée à recevoir des composants pour l'électronique, l'optique, ou l'optoélectronique lors de traitements ultérieurs à la mise en œuvre du procédé selon l'invention.

Un deuxième objectif de la présente invention consiste à former sur la couche relaxée ou pseudo-relaxée une couche utile de matériau contraint.

20 Un troisième objectif de la présente invention est de permettre de conserver une tenue de la relaxation au moins relative d'une couche initialement contrainte, lors de traitements thermiques à haute température.

C'est notamment de pouvoir conserver la tenue de la relaxation au moins relative d'une couche de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  adjacente à une couche vitreuse jusqu'à une température située entre environ 900°C et environ 1200°C voire à une température plus élevée.

De tels traitements thermiques peuvent être mis en œuvre lors d'épitaxies sur la couche de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  relaxée, ou au cours d'autres process, tels que par exemple une réalisation de composants dans la couche de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  et/ou dans une couche sus-épitaxiée, telle qu'une couche de Si contraint.



Le procédé selon l'invention comprend les trois étapes principales (1), (2) et (3) précédemment évoquées.

En référence aux figures 1a à 1i, est décrit un procédé préféré selon l'invention.

5 En référence à la figure 1a, est représentée une plaquette source 10 conforme à l'invention.

La plaquette 10 est constituée d'un substrat donneur 1 et d'une couche contrainte en  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  2.

Dans une première configuration du substrat donneur 1, ce dernier est 10 constitué entièrement de Si monocristallin ayant le premier paramètre de maille.

Ce substrat donneur 1 est alors avantageusement réalisé par croissance de Czochralski.

Dans une deuxième configuration du substrat donneur 1, ce dernier est 15 un pseudo-susbrat comprenant une couche supérieure en Si (non représentée sur la figure 1), présentant une interface avec la couche contrainte 2 et ayant un premier paramètre de maille au niveau de son interface avec la couche contrainte 2.

Le premier paramètre de maille de la couche supérieure est 20 avantageusement le paramètre de maille nominal du Si, afin que celui-ci soit dans un état relaxé.

La couche supérieure a en outre une épaisseur suffisamment importante pour pouvoir imposer son paramètre de maille à la couche contrainte 2 sus-jacente, sans que cette dernière n'influence sensiblement la structure cristalline de la couche supérieure du substrat donneur 1.

25 Quelle que soit la configuration choisie pour le substrat donneur 1, ce dernier a une structure cristalline avec une densité de défauts structuraux, telles que des dislocations, faible.

De préférence, la couche contrainte 2 n'est constituée que d'une seule épaisseur de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ .

La concentration de Ge dans cette couche contrainte 2 est préférentiellement supérieure à 17 %, soit une valeur de x supérieure à 0,17.

Le Ge ayant un paramètre de maille supérieur d'environ 4,2 % au Si, le matériau choisi pour constituer cette couche contrainte 2 a ainsi un deuxième paramètre de maille nominal qui est sensiblement supérieur au premier paramètre de maille.

La couche contrainte 2 formée est alors contrainte élastiquement en compression par le substrat donneur 1, c'est à dire qu'elle est contrainte d'avoir un paramètre de maille sensiblement inférieur du deuxième paramètre de maille nominal du matériau la constituant, et donc d'avoir un paramètre de maille voisin du premier paramètre de maille.

La couche contrainte 2 a en outre préférentiellement une composition d'éléments atomiques sensiblement constante.

La couche contrainte 2 est avantageusement formée sur le substrat donneur 1 par croissance cristalline, telle qu'une épitaxie en utilisant les techniques connues comme par exemple les techniques LPD, CVD et MBE (abréviations respectives de « Chemical Vapor Deposition » et « Molecular Beam Epitaxy »).

Pour obtenir une telle couche contrainte 2 sans trop de défauts cristallographiques, comme par exemple des défauts ponctuels ou des défauts étendus tels que des dislocations, il est avantageux de choisir les matériaux cristallins constituant le substrat donneur 1 et la couché contrainte 2 (au voisinage de son interface avec le substrat support 1) de sorte qu'ils présentent une différence entre leur premier et leur deuxième paramètres de maille nominaux respectifs suffisamment faible.

Par exemple, cette différence de paramètre de maille est typiquement comprise entre environ 0,5 % et environ 1,5 %, mais peut aussi présenter des valeurs plus importantes.

Par exemple, le  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  avec  $x=0,3$  a un paramètre de maille nominal supérieur d'environ 1,15 % à celui du Si.



D'autre part, il est préférable que la couche contrainte 2 ait une épaisseur sensiblement constante, afin qu'elle présente des propriétés intrinsèques sensiblement constantes et/ou pour faciliter le futur collage avec le substrat récepteur 5 (tel que représenté sur la figure 1e).

5 Pour éviter une relaxation de la couche contrainte 2 ou une apparition de déformations internes de type plastique, l'épaisseur de cette dernière doit en outre rester inférieure à une épaisseur critique de contrainte élastique.

10 Cette épaisseur critique de contrainte élastique dépend principalement du matériau choisi pour la couche contrainte 2 et de ladite différence de paramètre de maille avec le substrat donneur 1.

Mais elle dépend aussi de paramètres de croissance tels que la température à laquelle elle a été formée, des sites de nucléation à partir desquels elle a été épitaxiée, ou des techniques de croissance employées (par exemple CVD ou MBE).

15 En ce qui concerne des valeurs d'épaisseur critique pour des couches de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ , on pourra notamment se référer au document intitulé « High-mobility Si and Ge structures » de Friedrich Schaffler (« Semiconductor Science Technology » 12 (1997) 1515-1549).

20 Pour les autres matériaux, l'homme du métier se référera à l'état de la technique pour connaître la valeur de l'épaisseur critique de contrainte élastique du matériau qu'il choisit pour la couche contrainte 2 formée sur le substrat donneur 1.

25 Ainsi, on choisira pour une couche de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ayant  $x$  compris entre 0,10 et 0,30, une épaisseur typique comprise entre environ 200 Å et 2000 Å, préférentiellement entre 200 Å et 500 Å en adaptant notamment les paramètres de croissance.

Une fois formée, la couche contrainte 2 a donc un paramètre de maille sensiblement voisin de celui de son substrat de croissance 1 et présente des contraintes élastiques internes en compression.

En référence à la figure 1c, on forme sur la couche contrainte 2 ou sur le substrat récepteur 7 une couche vitreuse 4.

Le matériau constituant la couche vitreuse 4 est tel qu'il devient visqueux à partir d'une température de viscosité  $T_G$ .

5 Dans le cadre de ce procédé selon l'invention, est choisi pour la composition de cette couche vitreuse 4, un matériau ayant une température  $T_G$  élevée, de l'ordre de 900°C minimum.

Cette température de viscosité élevée permettra d'éviter à la couche vitreuse 4 de devenir visqueuse lors de traitements thermiques à haute 10 température, et d'éviter ainsi que notamment la structure 30 ou 40 (en référence aux figures 1h et 1i) formée en fin de procédé ne voit une partie de sa structure cristallographique se modifier avec cette couche vitreuse 4 devenue visqueuse.

Un unique traitement thermique à une température autour ou supérieur 15 à  $T_G$  sera toutefois mis en œuvre au cours du procédé selon l'invention, (en référence à la figure 1h), afin de faire relaxer la couche contrainte 2.

Et c'est notamment de pouvoir conserver la tenue de la relaxation au moins relative (qui sera obtenue lors d'une étape en référence à la figure 1h) de la couche de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  jusqu'à une température située autour de 900°C voire à 20 une température plus élevée.

Le matériau de la couche vitreuse 4 est avantageusement un des matériaux suivants :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ .

Lors de la formation d'une couche vitreuse 4 en  $\text{SiO}_x\text{N}_y$ , on pourra avantageusement jouer sur la valeur de y, afin de faire évoluer la température 25 de viscosité  $T_G$  qui est pour ce matériau sensiblement fonction de la composition de l'azote.

Ainsi, avec une composition y croissante, il est alors possible de faire évoluer le  $T_G$  de la couche vitreuse 4 typiquement entre un  $T_G$  de l'ordre de celui du  $\text{SiO}_2$  (qui peut varier autour de 1150°C) et un  $T_G$  de l'ordre de celui du 30  $\text{Si}_3\text{N}_4$  (qui est supérieur à 1500°C).



En jouant sur y, on peut ainsi couvrir une large gamme de  $T_G$ .

Les valeurs  $T_G$  de la couche vitreuse 4, si elles dépendent essentiellement du matériau de la couche vitreuse, peut aussi fluctuer selon les conditions dans lesquelles elle a été formée.

5 Dans un cas de figure avantageux, on pourra ainsi adapter les conditions de formation de la couche vitreuse 4 de façon contrôlée de sorte à sélectionner une  $T_G$  « à la carte ».

On pourra ainsi jouer sur les paramètres de dépôt, telles que la température, le temps, le dosage et le potentiel de l'atmosphère gazeuse, etc.

10 Des éléments de dopage pourront ainsi être ajoutés aux éléments principaux gazeux contenus dans l'atmosphère de vitrification, tels que du Bore et du Phosphore qui peuvent avoir la faculté de diminuer la  $T_G$ .

Il est préférable que la couche vitreuse 4 soit déposée avant que le germanium contenu dans la couche contrainte 2 ne puisse diffuser dans 15 l'atmosphère, voire dans le substrat récepteur 7, notamment lorsque l'ensemble subit un traitement thermique à haute température, tel qu'un traitement de recuit de type RTA, ou un traitement d'oxydation sacrificielle.

Dans un mode de réalisation préféré de la couche vitreuse 4, on met en œuvre les étapes suivantes :

- 20 (b1) en référence à la figure 1b, croissance d'une couche 3 en matériau semiconducteur sur la couche contrainte 2 ; puis  
(b2) en référence à la figure 1c, mise en œuvre d'un traitement contrôlé pour transformer au moins une partie de la couche formée à l'étape (b1), en matériau visqueux à partir de la température de viscosité,  
25 formant ainsi la couche vitreuse 4.

Le matériau choisi pour la couche 3 est avantageusement en Si afin de ne pas modifier la contrainte dans la couche contrainte 2.

L'épaisseur de la couche 3 formée est typiquement comprise entre environ 5 Å et environ 5000 Å, plus particulièrement entre environ 100 Å et 30 environ 1000 Å.

Pour les mêmes raisons que celles explicitées plus haut, la croissance cristalline lors de l'étape (b1) de la couche 3 est préférentiellement mise en œuvre avant diffusion du Ge, c'est à dire à court terme après :

- 5           • la formation de la couche contrainte 2 si la température de formation de la couche contrainte 2 est maintenue ;  
          • une remontée en température postérieure à une redescense à température ambiante ayant été faite immédiatement après la formation de la couche contrainte 2.

La méthode préférentielle pour faire croître la couche 3 est une  
10 croissance *in situ* directement en continuation de la croissance de la couche contrainte 2.

La technique de croissance utilisée lors de l'étape (b1) peut être une technique d'épitaxie LPD, CVD ou MBE.

La couche vitreuse 4 peut être réalisée par traitement thermique sous  
15 atmosphère à composition déterminée.

Ainsi, une couche 3 en Si peut subir lors de l'étape (b2) un traitement d'oxydation thermique contrôlé afin de transformer cette couche 3 en une couche vitreuse 4 en  $\text{SiO}_2$ .

Pendant cette dernière étape, il est important de doser précisément les  
20 paramètres du traitement oxydant (tels que la température, la durée, la concentration en oxygène, les autres gaz de l'atmosphère oxydante, etc.) afin de contrôler l'épaisseur d'oxyde formé, et d'arrêter l'oxydation au voisinage de l'interface entre les deux couches 2 et 3.

Pour une telle oxydation thermique, on utilisera de préférence une  
25 atmosphère d'oxygène sèche ou de vapeur d'eau, à une pression égale ou supérieure à 1 atm.

On préférera alors jouer sur la durée d'oxydation pour contrôler l'oxydation de la couche 3.



Cependant, ce contrôle peut se faire en jouant sur un ou plusieurs autres paramètres, en combinaison ou non avec le paramètre temps.

On pourra notamment se référer au document US 6 352 942 pour plus de précisions quant à ce mode de réalisation d'une telle couche vitreuse 4 de 5 SiO<sub>2</sub> sur une couche de SiGe.

Selon un autre mode de réalisation de la couche vitreuse 4, et en remplacement desdites deux étapes (b1) et (b2) référencées respectivement par les figures 1b et 1c, est mis en œuvre, immédiatement après la croissance de la couche contrainte 2 (afin d'éviter la diffusion du Ge), un dépôt d'espèces 10 atomiques constituées du matériau vitreux par des moyens de dépôts d'espèces atomiques.

Ainsi, on peut par exemple déposer des molécules de SiO<sub>2</sub> sur la couche contrainte 2 afin de former la couche vitreuse 4 en SiO<sub>2</sub>.

Dans un mode de réalisation de la couche vitreuse 4 alternatif au 15 précédent, on peut :

- déposer en premier lieu des espèces atomiques de Si amorphe pour former une couche de Si amorphe sur la couche contrainte de SiGe ; puis :
- oxyder thermiquement cette couche de Si amorphe et réaliser ainsi 20 une couche vitreuse 4 en SiO<sub>2</sub>.

En référence aux figures 1d, 1e et 1f, sont représentées des étapes de prélèvement de la couche contrainte 2 et de la couche vitreuse 4 à partir du substrat donneur 1 pour les transférer sur un substrat récepteur 7.

A cet effet, le procédé selon l'invention met en œuvre une technique 25 composée de deux étapes principales successives :

- un collage du substrat récepteur 7 avec l'ensemble substrat donneur 1 – couche contrainte 2 – couche vitreuse 4, au niveau de la couche vitreuse 4 ;
- un enlèvement du substrat donneur 1.

En référence à la figure 1e, le collage du substrat récepteur 7 et de la couche vitreuse 4 est mis en œuvre.

Avant collage, une étape optionnelle de formation d'une couche de collage sur la surface du substrat récepteur 7 peut être mise en œuvre, cette 5 couche de collage ayant des propriétés liantes, à température ambiante ou à des températures plus élevées, avec le matériau de la couche vitreuse 4.

Ainsi, par exemple, une formation d'une couche de SiO<sub>2</sub> sur le substrat récepteur 7 pourra améliorer la qualité du collage, notamment si la couche vitreuse 4 est en SiO<sub>2</sub>.

10 Cette couche de collage en SiO<sub>2</sub> est alors avantageusement réalisée par dépôt d'espèce atomiques de SiO<sub>2</sub> ou par oxydation thermique de la surface du substrat récepteur 7 si la surface de ce dernier est en Si.

Une étape de préparation des surfaces à coller est, préalablement au collage, avantageusement mise en œuvre afin de rendre ces surfaces les plus 15 lisses et les plus propres possibles.

Des traitements chimiques adaptés de nettoyage des surfaces à coller pourront être mis en œuvre, tels que des faibles gravures chimiques, un traitement RCA, des bains ozonés, des rinçages, etc.

Des traitements mécaniques ou mécano-chimiques peuvent aussi être 20 mis en œuvre, tels qu'un polissage, une abrasion, une CMP (abréviation anglo-saxonne de « Chemical Mechanical Planarization ») ou un bombardement d'espèces atomiques.

L'opération de collage en tant que telle s'effectue par une mise en contact des surfaces à coller.

25 Les liaisons de collage sont préférentiellement de nature moléculaire en utilisant des propriétés hydrophiles des surfaces à coller.

Pour attribuer ou accentuer les propriétés hydrophiles des surfaces à coller, des trempages préalables des deux structures à coller dans des bains peuvent être mis en œuvre, tels que par exemple un rinçage à l'eau dé-ionisée.



Un recuit de l'ensemble collé peut en outre être mis en œuvre pour renforcer les liaisons de collage, par exemple en modifiant la nature des liaisons de collage, telles que des liaisons de covalence ou autres liaisons.

Ainsi, dans le cas où la couche vitreuse 4 est en SiO<sub>2</sub>, un recuit peut 5 accentuer les liaisons de collage, notamment si une couche de collage en SiO<sub>2</sub> a été formée préalablement au collage sur le substrat récepteur 7.

Pour plus de précisions quant aux techniques de collage, on pourra se référer notamment au document intitulé « Semiconductor Wafer Bonding » (Science and technology, Interscience Technology) par Q. Y. Tong, U. Gösele 10 et Wiley.

Une fois l'ensemble collé, est mis en œuvre un enlèvement de matière préféré selon l'invention, qui consiste à détacher le substrat donneur 1 au niveau d'une zone de fragilisation 6 présente dans le substrat donneur 1, par apport d'énergie.

15 En référence aux figures 1d et 1e, cette zone de fragilisation 6 est une zone sensiblement parallèle à la surface de collage, et présente des fragilités de liaisons entre la partie inférieure 1A du substrat donneur 1 et la partie supérieure 1B du substrat donneur 1, ces liaisons fragiles étant susceptibles d'être rompues sous un apport d'une énergie, telle qu'une énergie thermique ou 20 mécanique.

Selon un premier mode de réalisation de la zone de fragilisation 6, est mise en œuvre une technique nommée Smart-Cut® et comprenant en premier lieu une implantation d'espèces atomiques dans le substrat donneur 1, au niveau de la zone de fragilisation 6.

25 Les espèces implantées peuvent être de l'hydrogène, de l'hélium, un mélange de ces deux espèces ou d'autres espèces légères.

L'implantation a lieu de préférence juste avant collage.

L'énergie d'implantation est choisie pour que les espèces, implantées à travers la surface de la couche vitreuse 4, traversent l'épaisseur de la couche

vitreuse 4, l'épaisseur de la couche contrainte 2 et une épaisseur déterminée de la partie supérieure 1B du substrat récepteur 1.

Il est préférable d'implanter dans le substrat donneur 1 suffisamment profondément pour que la couche contrainte 2 ne subisse pas de dommages 5 lors de l'étape de détachement du substrat donneur 1.

La profondeur d'implant dans le substrat donneur est ainsi typiquement de 1000 Å environ.

La fragilité des liaisons dans la zone de fragilisation 6 est trouvée principalement par le choix du dosage des espèces implantées, le dosage étant 10 ainsi typiquement compris entre  $10^{16} \text{ cm}^{-2}$  et  $10^{17} \text{ cm}^{-2}$ , et plus précisément entre environ  $2.10^{16} \text{ cm}^{-2}$  et environ  $7.10^{16} \text{ cm}^{-2}$ .

Le détachement au niveau de cette zone de fragilisation 6 s'effectue alors habituellement par apport d'énergie mécanique et/ou thermique.

Pour plus de précisions quant au procédé Smart-Cut®, on se référera 15 notamment au document intitulé « Silicon-On-Insulator Technology : Materials to VLSI, 2nd Edition » de J.-P. Colinge édité chez « Kluwer Academic Publishers », p.50 et 51.

Selon un deuxième mode de réalisation de la zone de fragilisation 6, est mise en œuvre une technique notamment décrite dans le document EP 20 0 849 788.

La couche de fragilisation 6 est ici réalisée avant la formation de la couche contrainte 2, et lors de la formation du substrat donneur 1.

La réalisation de la couche de fragilisation comprend les opérations principales suivantes :

- 25 • formation d'une couche poreuse sur un substrat support 1A de Si ;  
• croissance d'une couche 1B de Si sur la couche poreuse.

L'ensemble substrat support 1A – couche poreuse – couche 1B de Si constitue alors le substrat donneur 1, et la couche poreuse constitue alors la zone de fragilisation 6 du substrat donneur 1.

Un apport d'énergie, tel qu'un apport d'énergie thermique et/ou mécanique, au niveau de la zone de fragilisation 6 poreuse, conduit alors à un détachement le substrat support 1A de la couche 1B.

La technique préférée selon l'invention d'enlèvement de matière au niveau d'une zone de fragilisation 6, réalisée selon un des deux modes de réalisation non limitatif ci-dessus, permet ainsi de retirer rapidement et en bloc une partie importante du substrat donneur 1.

Elle permet aussi de pouvoir réutiliser la partie retirée 1A du substrat donneur 1 dans un autre procédé, comme par exemple un procédé selon 10 l'invention.

Ainsi, une reformation d'une couche contrainte 2 sur la partie retirée 1A et d'une éventuelle autre partie d'un substrat donneur et/ou d'autres couches peut être mise en œuvre, de préférence après un polissage de la surface de la partie retirée 1A.

15 En référence à la figure 1f, après détachement de la partie restante 1B de la partie enlevée 1A du substrat donneur 1, est mis en œuvre un enlèvement de matière de finition permettant d'enlever la partie restante 1B.

Des techniques de finition telles qu'un polissage, une abrasion, une planarisation CMP, un recuit thermique RTA, une oxydation sacrificielle, une 20 gravure chimique, prises seules ou en combinaison peuvent être mises en œuvre pour enlever cette partie 1B et parfaire l'empilement (renforcement de l'interface de collage, élimination de rugosités, guérison de défauts, etc.).

De manière avantageuse, l'enlèvement de matière de finition met en œuvre au moins en fin d'étape une gravure chimique sélective, prise en 25 combinaison ou non avec des moyens mécaniques.

Ainsi, des solutions à base de KOH, NH<sub>4</sub>OH (hydroxyde d'ammonium), TMAH, EDP ou HNO<sub>3</sub> ou des solutions actuellement à l'étude combinant des agents tels que HNO<sub>3</sub>, HNO<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, HF, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>COOH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, et H<sub>2</sub>O (comme expliqué dans le document WO 99/53539, page 9) pourront être

avantageusement employées pour graver sélectivement la partie 1B en Si vis à vis de la couche contrainte 2 en  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ .

Après l'étape de collage, une autre technique d'enlèvement de matière sans détachement et sans zone de fragilisation, peut être mise en œuvre selon 5 l'invention pour l'enlèvement du substrat donneur 1.

Elle consiste à mettre en œuvre une gravure chimique et/ou mécano-chimique.

On peut par exemple mettre en œuvre des gravures éventuellement sélectives du ou des matériaux du substrat donneur 1 à retirer, selon un 10 procédé de type « etch-back ».

Cette technique consiste à graver le substrat donneur 1 « par derrière », c'est à dire à partir de la face libre du substrat donneur 1.

Des gravures par voie humide mettant en œuvre des solutions de gravure adaptées aux matériaux à enlever peuvent être mises en œuvre.

15 Des gravures par voie sèche peuvent également être mises en œuvre pour enlever de la matière, telles que des gravures par plasma ou par pulvérisation.

La ou les gravures peuvent en outre être seulement chimiques ou électrochimiques ou photoélectrochimiques.

20 La ou les gravures peuvent être précédées ou suivies par une attaque mécanique du substrat donneur 1, tel un rodage, un polissage, une gravure mécanique ou une pulvérisation d'espèces atomiques.

25 La ou les gravures peuvent être accompagnées d'une attaque mécanique, tel qu'un polissage éventuellement combiné avec une action d'abrasifs mécaniques dans un procédé CMP.

Toutes les techniques précitées d'enlèvement de matière du substrat donneur 1, sont proposées à titre d'exemple dans le présent document, mais ne constituent en rien une limitation, l'invention s'étendant à tous types de techniques aptes à enlever de la matière du substrat donneur 1, conformément 30 au procédé selon l'invention.

En référence à la figure 1g, on obtient après enlèvement de matière une structure comprenant le substrat récepteur 7, la couche vitreuse 4 et la couche contrainte 2.

En référence à la figure 1h, un traitement thermique est alors mis en œuvre à une température voisine ou supérieure à la température de viscosité  $T_g$ .

Ce traitement thermique a pour but principal de relaxer les contraintes dans la couche contrainte 2.

En effet, un traitement thermique à une température supérieure à ou 10 autour de la température de viscosité de la couche vitreuse 4, va provoquer une viscosité de cette dernière couche, qui va permettre à la couche contrainte de se détendre au niveau de son interface avec la couche vitreuse 4, entraînant une décompression d'au moins une partie de ses contraintes internes.

Ainsi, dans le cas où la couche vitreuse 4 est en  $\text{SiO}_2$  réalisée par 15 oxydation thermique, un traitement thermique à environ  $1050^\circ\text{C}$  minimum, préférentiellement à environ  $1200^\circ\text{C}$  minimum, pendant un temps déterminé va provoquer une relaxation ou une pseudo-relaxation de la couche contrainte 2.

Le traitement thermique dure typiquement entre quelques secondes et plusieurs heures.

20 La couche contrainte 2 devient donc une couche relaxée 2'.

D'autres effets du traitement thermique sur la structure peuvent être recherchés, en outre de la relaxation de la couche contrainte 2.

Un deuxième but recherché lorsque est mis en œuvre le traitement thermique, peut en outre être de réaliser un recuit de renforcement de collage 25 entre le substrat récepteur 7 et la couche vitreuse 4.

En effet, la température choisie pour le traitement thermique étant supérieure à ou autour de la température de viscosité de la couche vitreuse 4, cette dernière, devenue temporairement visqueuse, peut créer des liaisons d'adhésion particulières et plus fortes avec le substrat récepteur 7.

On obtient alors au final une structure 30 constituée de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  relaxé 2' / couche vitreuse 4 / substrat récepteur 7.

Cette structure 30 est une structure SGOI (acronyme anglo-saxon de « Silicon Germanium On Insulator ») dans le cas où la couche vitreuse 4 est 5 isolante électriquement, tel que par exemple une couche vitreuse 4 en  $\text{SiO}_2$ .

La couche de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  relaxé 2' de cette structure présente alors une surface ayant une rugosité de surface compatible avec une croissance d'un autre matériau cristallin.

Un léger traitement de surface, tel un polissage, adapté au  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  peut 10 éventuellement être mis en œuvre pour améliorer les propriétés de surface.

En référence à la figure 1i, et dans une étape optionnelle de l'invention, est alors mise en œuvre une croissance d'une couche 11 de Si sur la couche de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  relaxé 2' avec une épaisseur sensiblement inférieure à l'épaisseur critique de contrainte du matériau qui la constitue, et qu'elle soit donc contrainte 15 par la couche de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  relaxé 2'.

On obtient alors au final une structure 40 constituée de Si contraint /  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  relaxé 2' / couche vitreuse 4 / substrat récepteur 7.

Cette structure 40 est une structure Si/SGOI dans le cas où la couche vitreuse 4 est isolante électriquement, tel que par exemple une couche vitreuse 20 4 en  $\text{SiO}_2$ .

Une variante de ce procédé est présentée en référence aux figures 2a à 2i.

En référence aux figures 2a à 2i, et plus particulièrement à la figure 2c, le 25 procédé est globalement le même que celui décrit en référence aux figures 1a à 1i, à l'exception de l'étape de transformation de la couche 3 en couche vitreuse 4 qui est ici mise en œuvre de sorte que toute la couche 3 ne soit pas transformée.

Ainsi, il reste une partie de la couche 3 en Si intercalée entre la couche 30 vitreuse 4 et la couche contrainte 2, formant une couche intercalée 5.

Cette couche intercalée 5 est réalisée de sorte qu'elle ait une épaisseur typique autour de 10 nm, en tous les cas très inférieure à celle de la couche contrainte 2.

Lors du traitement thermique de relaxation de la contrainte de la couche 5 contrainte 2, cette dernière va vouloir diminuer son énergie interne de contrainte élastique en utilisant les propriétés de viscosité de la couche vitreuse 4 devenue visqueuse, et, du fait que la couche intercalée 5 soit de faible épaisseur par rapport à la couche contrainte 2 sus-jacente, la couche contrainte 2 va imposer son besoin de relaxation à la couche intercalée 5.

10 La couche contrainte 2 oblige ainsi la couche intercalée 5 au moins partiellement à la contrainte.

La couche contrainte 2 devient alors une couche relaxée 2' au moins partiellement.

Et la couche intercalée 5 relaxée devient alors une couche intercalée 15 contrainte 5'.

On trouvera notamment une discussion sur ce dernier point dans le document US 5 461 243, colonne 3, lignes 28 à 42.

En référence à la figure 2h, cette couche intercalée contrainte 5' est conservée après le traitement thermique de relaxation de la couche contrainte 20 2.

La structure formée est alors une structure 30 constituée de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  relaxé / Si contraint / couche vitreuse 4 / substrat récepteur 7.

Cette structure 30 est une structure SG/SOI, dans le cas où la couche vitreuse 4 est isolante électriquement, tel que par exemple une couche vitreuse 25 4 en  $\text{SiO}_2$ .

On peut alors éventuellement retirer, par exemple par gravure chimique sélective à base de HF:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:CH<sub>3</sub>COOH (sélectivité d'environ 1 :1000), la couche  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  relaxé 2', pour avoir au final une structure Si contraint / couche vitreuse 4 / substrat récepteur 7.

Cette structure est une structure SOI contraint, dans le cas où la couche vitreuse 4 est isolante électriquement, tel que par exemple une couche vitreuse 4 en  $\text{SiO}_2$ .

Au lieu de mettre en œuvre cette gravure chimique, on peut réaliser, en 5 référence à la figure 2i, une croissance d'une couche de Si reprise sur la couche relaxée 2' de sorte à former une couche de Si, contraint 11, sensiblement identique à celle de la figure 1i.

La structure formée est alors une structure 40 constituée de Si contraint /  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  relaxé / Si contraint / couche vitreuse 4 / substrat récepteur 7.

10 Cette structure 40 est une structure Si/Gé/SOI, dans le cas où la couche vitreuse 4 est isolante électriquement, tel que par exemple une couche vitreuse 4 en  $\text{SiO}_2$ .

Dans un cas de figure particulier où le traitement thermique de relaxation des contraintes de la couche contrainte 2 est effectué à une température et 15 pendant une durée supérieurs respectivement à une température et à une durée de référence à partir desquels le Ge diffuse dans le Si, le Ge contenu dans la couche contrainte 2 peut diffuser dans la couche intercalée contrainte 5'.

C'est pourquoi il est préférable de mettre en œuvre la relaxation de la 20 couche en SiGe contrainte 2 avant la reprise de l'épitaxie de la couche de Si contrainte 11.

Mais, dans certains autres cas, cet effet de diffusion, s'il est convenablement contrôlé, peut être recherché.

Ainsi, la diffusion peut être contrôlée de sorte que les espèces de Ge se 25 répartissent de façon uniforme dans l'ensemble des deux couches 2 et 5, formant une unique couche de  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ayant une concentration en Ge sensiblement uniformisée.

On trouvera notamment une discussion de ce dernier point dans le document US 5 461 243, colonne 3, lignes 48 à 58.



Selon l'un ou l'autre des deux procédés préférés selon l'invention ci-dessus, ou selon un équivalent de ceux-ci, des étapes en vue d'une réalisation de composants peuvent être intégrées ou succéder à ce procédé selon l'invention.

5 Ainsi, des étapes de préparation à la réalisation de composants peuvent être mises en œuvre au cours du procédé, et à une température d'environ 900°C minimum sans altérer le taux de contraintes de la couche relaxée 2' et de la couche contrainte 11.

10 Elles sont mises en œuvre au niveau de la couche 2 de SiGe contraint de la structure SGOI en référence à la figure 1g, de la couche 2' de SiGe relaxé ou pseudo-relaxé de la structure SGOI en référence à la figure 1h, ou dans la couche 11 de Si contraint de la structure Si/SGOI en référence à la figure 1i.

15 On pourra par exemple entreprendre des traitements locaux destinés à graver des motifs dans les couches, par exemple par lithographie, par photolithographie, par gravure aux ions réactifs ou par toute autre gravure avec masquage en motifs.

20 Dans un cas particulier, des motifs tels que des îlots sont ainsi gravés dans la couche contrainte 2 en SiGe afin d'aider à une bonne relaxation de la couche contrainte 2 lors de la mise en œuvre ultérieure du traitement thermique de relaxation.

Une ou plusieurs étapes de réalisation de composants, tels que des transistors, dans la couche de Si contraint 11 (ou dans la couche de SiGe relaxé 2' dans le cas où celle-ci n'est pas recouverte d'une couche de Si contraint 11) peuvent notamment être mises en œuvre à une température d'environ 900°C minimum sans altérer le taux de contraintes de la couche relaxée 2' et de la couche contrainte 11.

Dans un procédé particulier selon l'invention, des étapes de réalisation de composants sont mises en œuvre au cours ou en continuité du traitement thermique de relaxation de la couche de SiGe contraint 2.

Dans un procédé particulier selon l'invention, l'étape d'épitaxie de la couche de Si constraint est mise en œuvre au cours ou en continuité des étapes de réalisation de composants.

5 Les techniques décrites dans l'invention sont proposées à titre d'exemple dans le présent document, mais ne constituent en rien une limitation, l'invention s'étendant à tous types de techniques aptes à mettre en œuvre un procédé selon l'invention.

Une ou plusieurs épitaxies quelconque(s) peu(ven)t être mise(s) en  
10 œuvre sur la structure finale (structure 30 ou 40 prise en référence à la figure 1h, 1i, 2h, 2i), telle qu'une épitaxie d'une couche de SiGe ou de SiGeC, ou une épitaxie d'une couche de Si ou de SiC constraint, ou des épitaxies successives de couches SiGe ou de SiGeC et de couches de Si ou de SiC constraint en alternance pour former une structure multicouches.

15 La structure finale achevée, on peut éventuellement mettre en œuvre des traitements de finition, comprenant par exemple un recuit.

La présente invention ne se limite pas non plus à une couche contrainte  
2 en SiGe, mais s'étend aussi à une constitution de la couche contrainte 2 en d'autres types de matériaux, de type III-V ou II-VI, ou à d'autres matériaux  
20 semiconducteurs.

Dans les couches de semiconducteurs discutés dans ce document,  
d'autres constituants peuvent y être ajoutés, tel que du carbone avec une concentration de carbone dans la couche considérée sensiblement inférieure ou égale à 50 % ou, plus particulièrement avec une concentration inférieure ou  
25 égale à 5 %.



## REVENDICATIONS

5        1. Procédé de formation sur un substrat d'une couche relaxée ou pseudo-relaxée, la couche relaxée (2') étant en un matériau choisi parmi les matériaux semiconducteurs, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- (a) faire croître sur un substrat donneur (1) une couche contrainte (2) élastiquement constituée du matériau choisi parmi les matériaux semiconducteurs ;
- 10      (b) former sur la couche contrainte (2) ou sur un substrat récepteur (7), une couche vitreuse (4) constituée d'un matériau visqueux à partir d'une température de viscosité supérieure à environ 900°C ;
- 15      (c) coller le substrat récepteur (7) à la couche contrainte (2) par l'intermédiaire de la couche vitreuse (4) formée à l'étape (b) ;
- (d) enlever le substrat donneur (1), pour former une structure comprenant le substrat récepteur (7), la couche vitreuse (4) et la couche contrainte (2) ;
- 20      (e) traiter thermiquement la structure à une température voisine ou supérieure à la température de viscosité.

25      2. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une dernière étape de croissance cristalline, sur la structure, d'un matériau choisi parmi les matériaux semiconducteurs.

30      3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape (b) comprend les deux opérations successives :  
          (b1) faire croître une couche en matériau semiconducteur sur la couche contrainte (2) ;

(b2) réaliser un traitement contrôlé pour transformer au moins une partie de la couche formée à l'étape (b1), en matériau visqueux à partir de la température de viscosité, formant ainsi la couche vitreuse (4).

5        4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend, avant l'étape (c), une formation d'une couche de collage sur au moins une des deux surfaces à coller.

10      5. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la couche de collage est en SiO<sub>2</sub>.

15      6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'enlèvement de matière de l'étape (d) est essentiellement réalisé par un détachement au niveau d'une zone de fragilisation présente dans le substrat donneur (1), à une profondeur voisine de l'épaisseur de la couche de surface; par apport d'énergie.

20      7. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, avant l'étape (c), la formation de la zone de fragilisation par implantation d'espèces atomiques dans le substrat donneur (1).

25      8. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, avant l'étape (a), une étape de formation du substrat donneur (1) comprenant les opérations suivantes :

- former une couche poreuse (6) sur un substrat support cristallin (1A) ;
- faire croître une couche cristalline (1B) sur la couche poreuse (6) ;

l'ensemble substrat support (1A) – couche poreuse (6) – couche cristalline (1B) constituant le substrat donneur (1), la couche poreuse constituant la zone de fragilisation du substrat donneur (1).



9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'enlèvement de matière de l'étape (d) comprend une gravure chimique sélective.

5

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la couche vitreuse (4) formée à l'étape (b) est isolante électriquement.

11. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que la couche vitreuse (4) formée à l'étape (b) est en  $\text{SiO}_2$ .

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que :

15

- le substrat donneur (1) est en Si ; et
- la couche contrainte (2) est en  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ .

13. Procédé selon les deux revendications précédentes et la revendication 2, caractérisé en ce que :

20

- la couche de croissance de l'étape (b1) est en Si ;
- le traitement contrôlé mis en œuvre lors de l'étape (b2) est un traitement d'oxydation thermique contrôlé pour transformer au moins une partie du Si de la couche formée lors de l'étape (b1) en  $\text{SiO}_2$ , formant ainsi la couche vitreuse (4) en  $\text{SiO}_2$ .

25

14. Procédé selon l'une des trois revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape (e) comprend un traitement thermique à partir d'environ 900°C.

15. Procédé selon la revendication 2 combinée à l'une des quatre revendications précédentes, caractérisé en ce que le matériau utilisé pour la croissance sur la structure est du Si.

5        16. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la couche vitreuse (4) formée au cours de l'étape (b) est isolante électriquement et que la structure formée est donc une structure semiconducteur-sur-isolant, dont l'épaisseur semiconductrice comprend la couche contrainte (2) ayant été relaxée ou pseudo-relaxée lors de l'étape (e).

10

17. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des étapes de préparation à la réalisation de composants et/ou des étapes de réalisation de composants dans la couche contrainte (2) ou dans une couche éventuellement sus-épitaxiée (11).

15

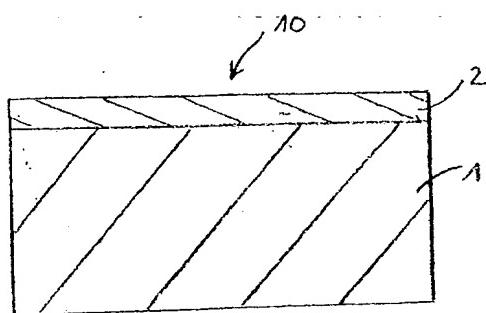


Fig. 1a

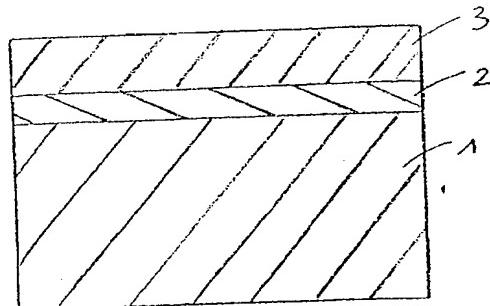


Fig. 1b

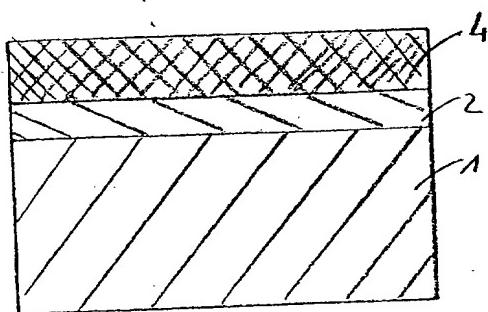


Fig. 1c

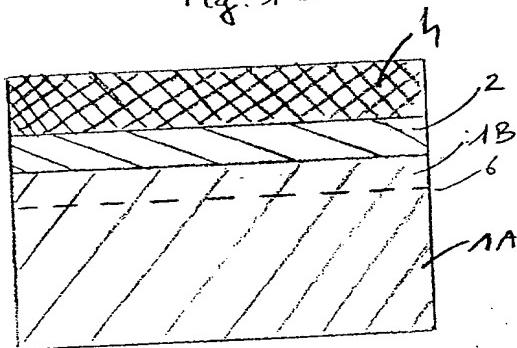


Fig. 1d

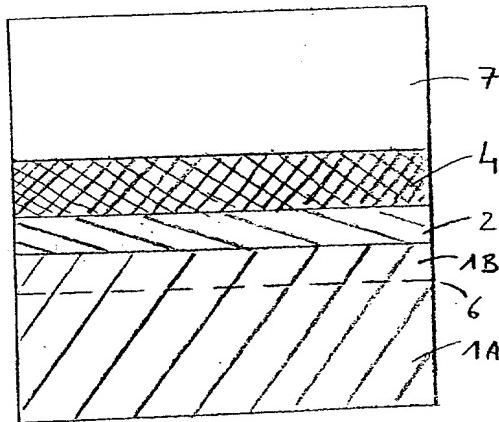


Fig. 1e

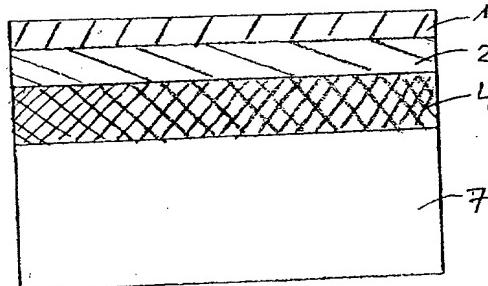


Fig. 1f

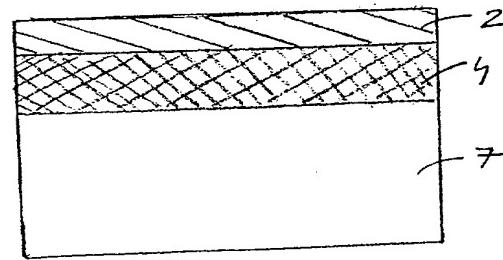
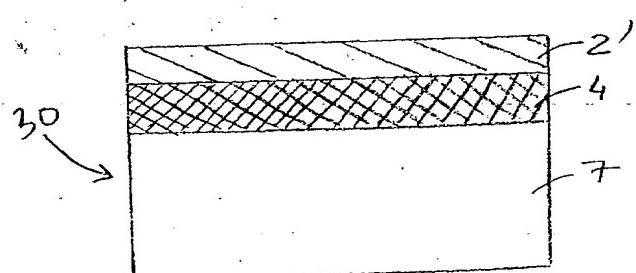


Fig. 1g



DUPLICATA Fig. 1h

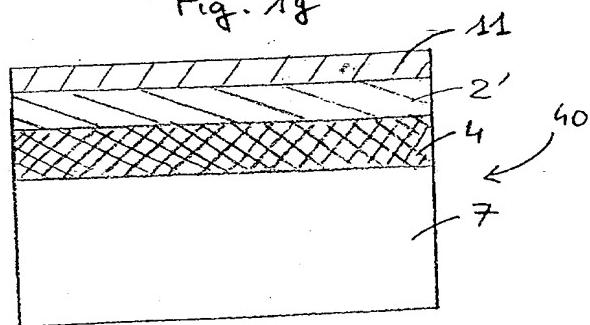


Fig. 1i

1 / 2

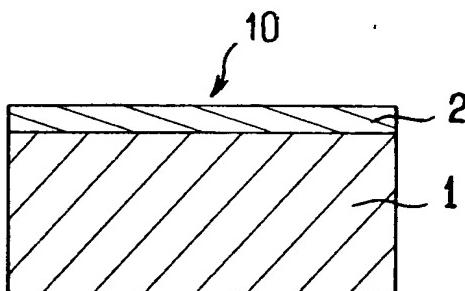


FIG. 1a

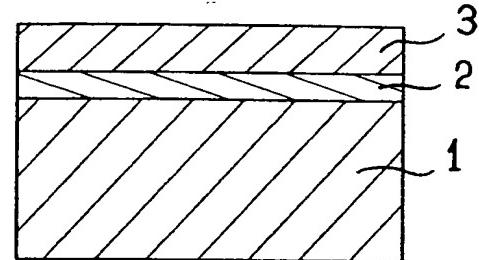


FIG. 1b

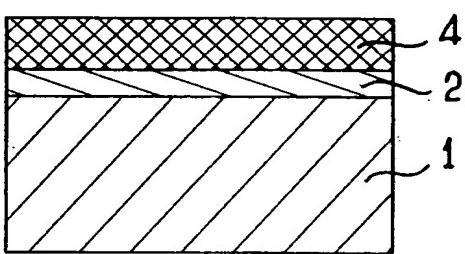


FIG. 1c

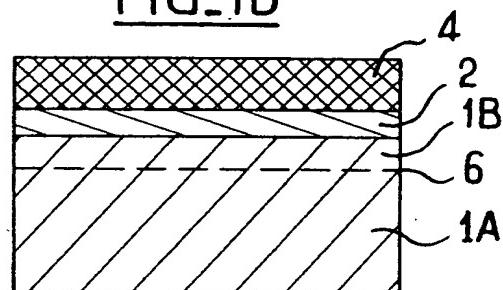


FIG. 1d

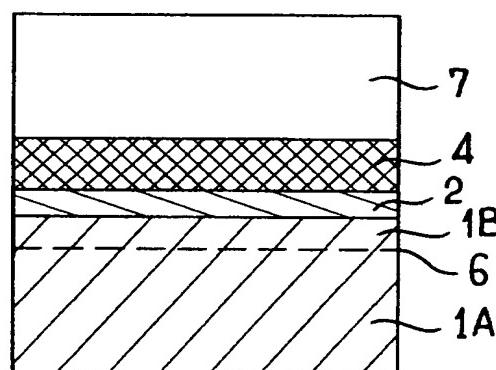


FIG. 1e

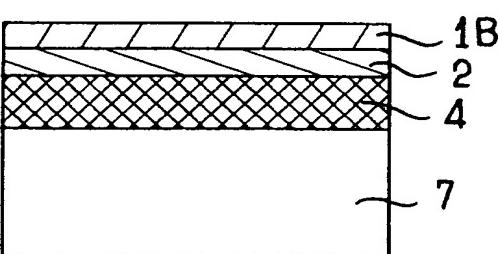


FIG. 1f

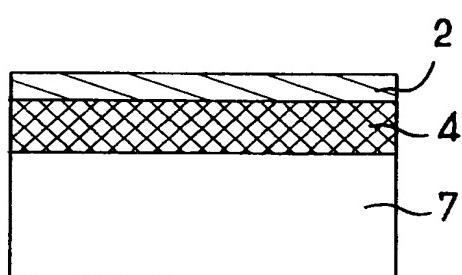


FIG. 1g

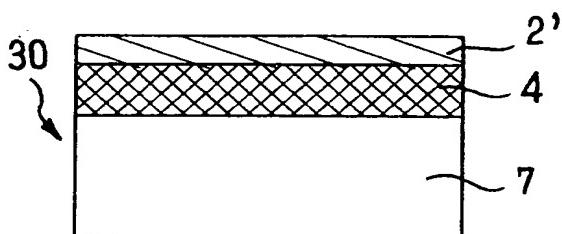


FIG. 1h

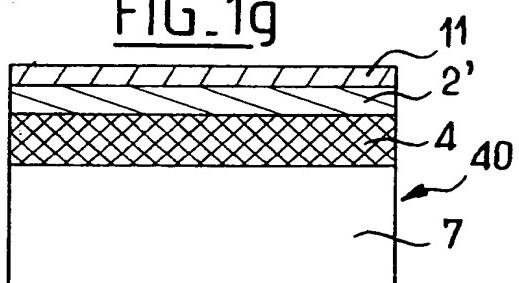


FIG. 1i

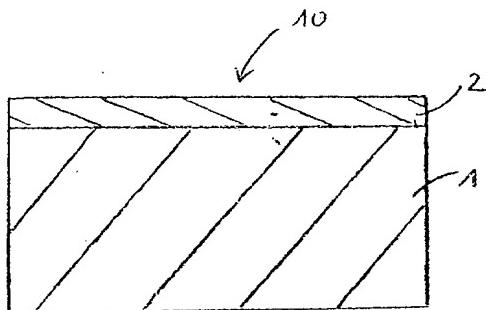


Fig. 2a

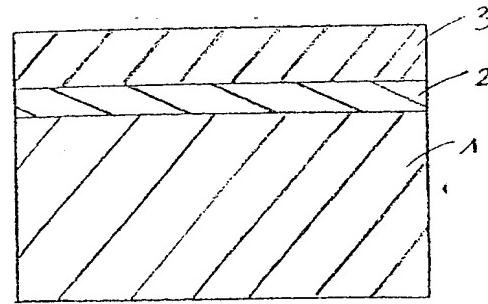


Fig. 2b

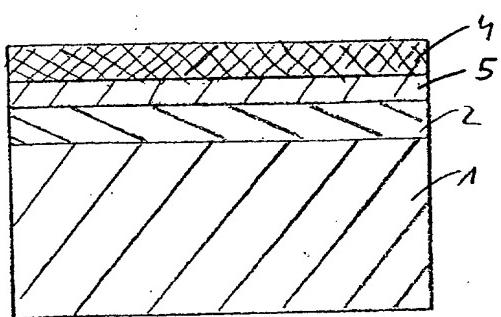


Fig. 2c

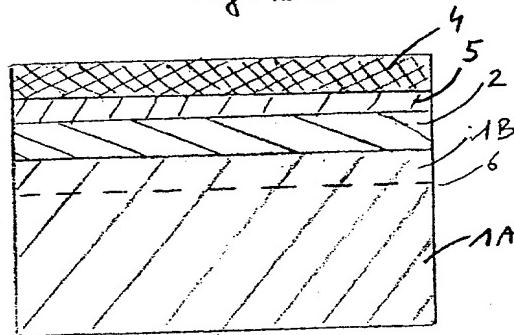


Fig. 2d

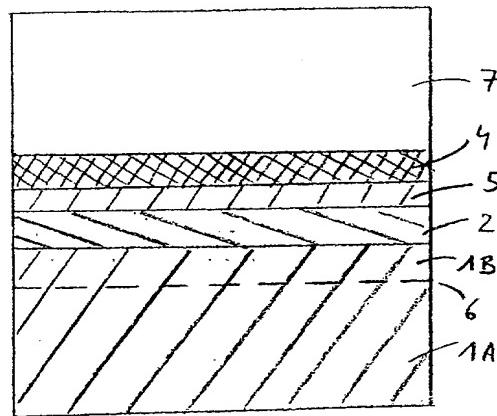


Fig. 2e

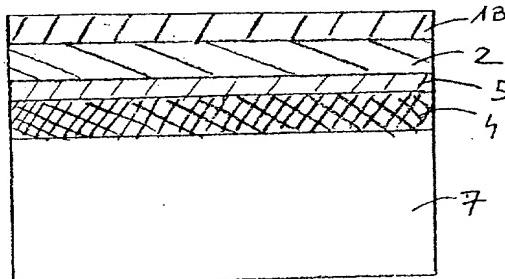


Fig. 2f

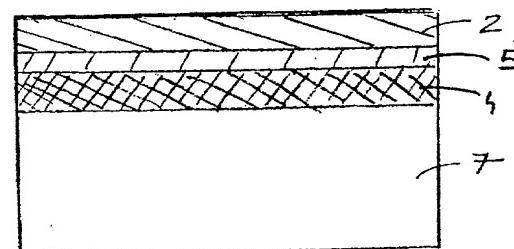


Fig. 2g

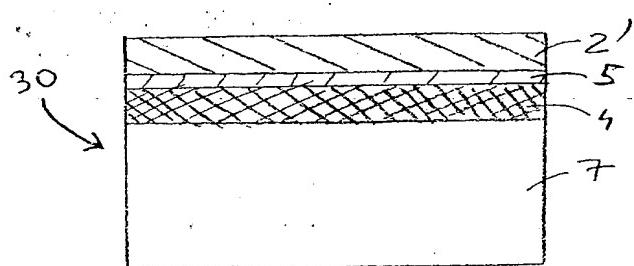
**DUPPLICATA**

Fig. 2h

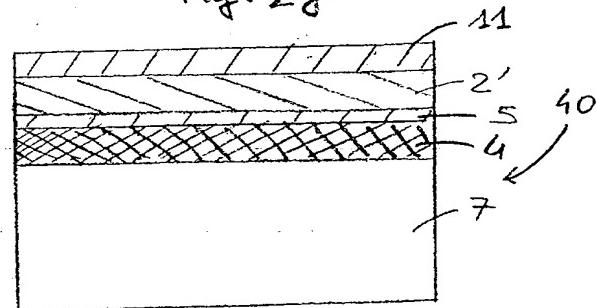


Fig. 2i

2/2

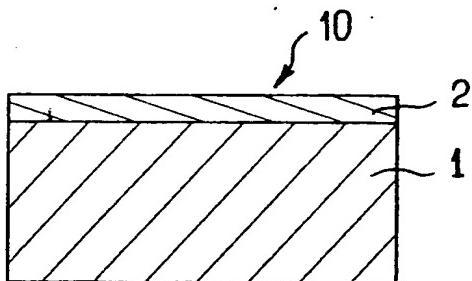


FIG. 2a

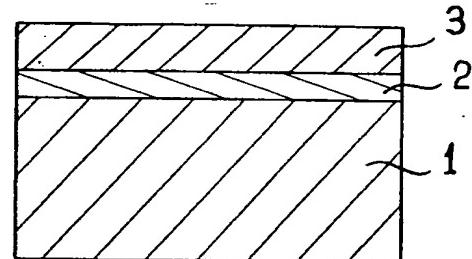


FIG. 2b

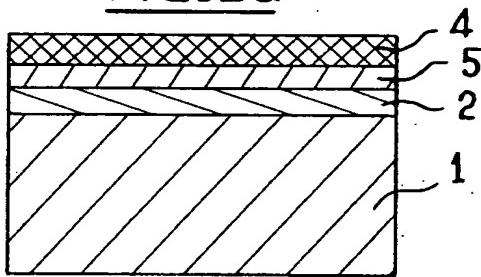


FIG. 2c

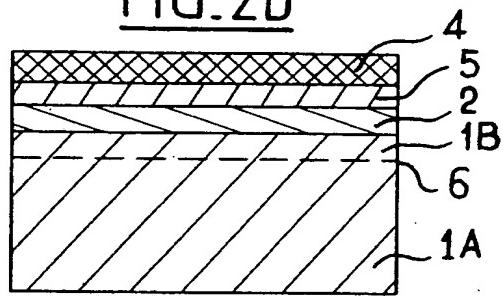


FIG. 2d

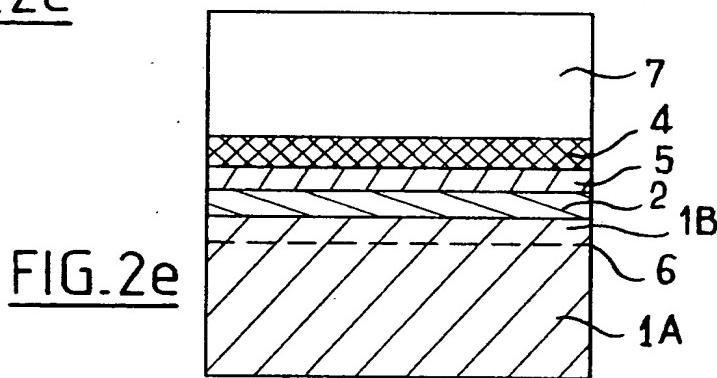


FIG. 2e

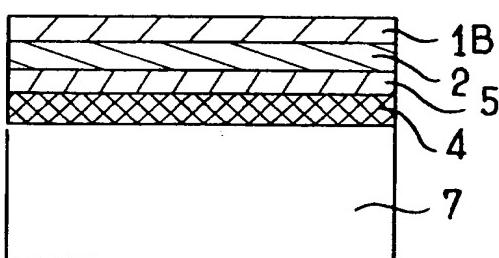


FIG. 2f

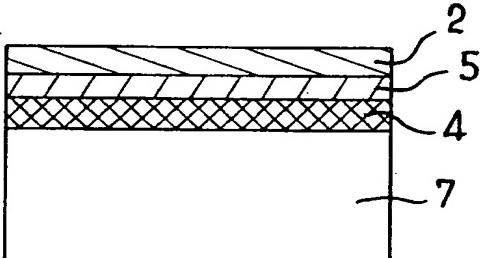


FIG. 2g

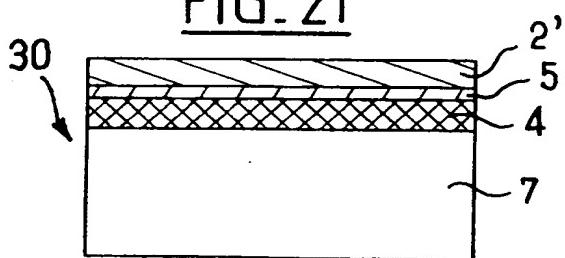


FIG. 2h

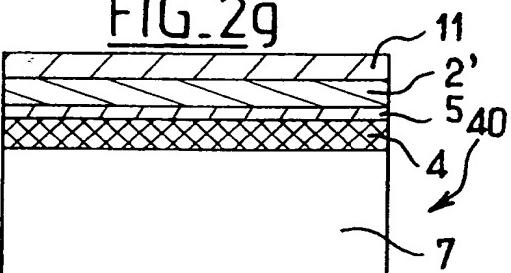


FIG. 2i

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle -Livre VI

### DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

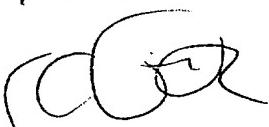
### DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .1. /1 ..

(À fournir dans le cas où les demandeurs et  
les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 270601



|  |                      |   |        |
|--|----------------------|---|--------|
| Vos références pour ce dossier (facultatif)  |                      |   |        |
| N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL   |                      | 240409 D21042 OC  | 0302K9 |
| <b>TITRE DE L'INVENTION</b> (200 caractères ou espaces maximum)  |                      |   |        |
| RELAXATION A HAUTE TEMPERATURE D'UNE COUCHE MINCE APRES TRANSFERT  |                      |   |        |
| <b>LE(S) DEMANDEUR(S) :</b>  |                      |   |        |
| S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR TECHNOLOGIES : Parc Technologique des Fontaines - Chemin des Franques, 38190 BERNIN - FRANCE              |                      |   |        |
| <b>DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :</b>   |                      |   |        |
| <b>1</b> Nom   |                      |   |        |
| Prénoms  |                      | GHYSELEN Bruno  |        |
| Adresse  | Rue                  | 58, rue Georges Maeder  |        |
|  | Code postal et ville | 38170 SEYSSINET-PARISSET FRANCE   |        |
| Société d'appartenance (facultatif)  |                      |   |        |
| <b>2</b> Nom   |                      |   |        |
| Prénoms  |                      | MAZURE Carlos   |        |
| Adresse  | Rue                  | 357, route de Saint-Pancrasse   |        |
|  | Code postal et ville | 38330 SAINT-NAZAIRE LES EYMES FRANCE  |        |
| Société d'appartenance (facultatif)  |                      |   |        |
| <b>3</b> Nom   |                      |   |        |
| Prénoms  |                      | ARENE Emmanuel  |        |
| Adresse  | Rue                  | 1 Clos des Franquières  |        |
|  | Code postal et ville | 38330 BIVIERS FRANCE  |        |
| S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivie du nombre de pages. |                      |   |        |
| <b>DATE ET SIGNATURE(S)<br/>DU (DES) DEMANDEUR(S)<br/>OU DU MANDATAIRE<br/>(Nom et qualité du signataire)</b>                            |                      | 28/02/2003<br> |        |